

文章编号: 1673-6338(2009)05-0316-05

GPS 双天线定向系统及优化模糊度搜索算法

王先全¹, 吴敏², 冯济琴¹, 董淳¹

(1. 重庆理工大学 电子学院, 重庆 400050; 2. 重庆理工大学 车辆学院, 重庆 400050)

摘要: 研究了 GPS 载波相位双差测量方向的原理和应用最小二乘法解算基线矢量的方法; 提出了快速解算整周模糊度的优化算法。实验表明, 采用基线长度作为约束条件, 应用 GPS 双天线测量方向的原理和搜索模糊度优化算法正确, 其定向精度达 0.12° , 解算时间小于 0.3 s 。

关键词: 全球定位系统; 载波相位; 整周模糊度; 短基线; 定向系统

中图分类号: P228; T M 966 **文献标识码:** A **DOI 编码:** 10.3969/j.issn.1673-6338.2009.05.002

Optimized GPS Carrier Phase Ambiguity Search Algorithm and GPS Double Antenna Orientation System

WANG Xianquan¹, WU Min², FENG Jiqin¹, DONG Chun¹

(1. School of Electronic Information and Automation, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China;

2. Chongqing Automobile College, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: Theory of measuring orientation using GPS double differential carrier phase and method of solving baseline vector using least square method were researched. The optimized algorithm of fast solving integer ambiguity was proposed. Experiments indicated that taking baseline length as constraint condition, theory of GPS double antenna measurement and the optimized algorithm of fast solving integer ambiguity were correct. Its orientation precision could achieve 0.12° and calculating time was less than 0.3 s .

Key words: GPS; carrier phase; integer ambiguity; short baseline; orientation system

GPS 载波相位是最精密的 GPS 观测量, 理论上可以达到毫米级的相对定位。GPS 载波相位双差削弱或消除了卫星的星历误差、时钟误差、用户时钟误差、电离层误差、对流层误差。因而, 用 GPS 载波相位双差法可以得到更高精度^[1-7]。用长度为 3 m 的 GPS 双天线作基线, 可达到 0.12° 的定向精度。但是, 载波相位观测量只能获得相位的小数部分。要获得毫米级的测量精度, 必须对载波相位的整周数进行正确的解算。因而, GPS 载波相位双差模糊度的求解, 就是一个关键问题。这里将研究 GPS 载波相位定向理论, 详细讨论 GPS 载波相位模糊度的快速算法, 并对算法进行了优化, 大大提高了运算速度。

S_1, S_2, S_3 及 S_4 为 GPS 卫星; A, B 两接收机天线形成基线。通过检测基线 AB 的向量, 可以计算出基线的方位。

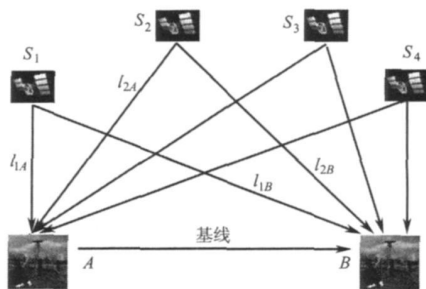


图 1 GPS 双天线定向原理图

A, B 两天线观测两颗不同卫星 S_1 和 S_2 , 其双差载波相位方程为

$$\phi_{AB}^{12} = \frac{1}{\lambda} l_{AB}^{12} + N_{AB}^{12} = \frac{1}{\lambda} [l_{2B} - l_{1B} - l_{2A} + l_{1A}] + N_{AB}^{12} \quad (1)$$

1 GPS 载波相位双差定向原理

如图 1 所示, A, B 为 GPS 的两个接收天线;

收稿日期: 2009-03-05; 修回日期: 2009-06-26。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50575235); 重庆市自然科学基金资助项目(2008BB2336)。

作者简介: 王先全(1968-), 男, 四川华蓥人, 副教授, 硕士, 主要从事信号检测、计算机软件等研究。

其中, l_{1A}, l_{2A}, l_{1B} 以及 l_{2B} 分别为两天线 A, B 至两卫星 S_1, S_2 的距离; N_{AB}^{12} 为双差整周模糊度; λ 为波长。

以 A 为参考点进行泰勒级数展开, 并忽略高阶项^[8-9], 有

$$\begin{aligned} \phi_{AB}^{12} = & \frac{1}{\lambda} \left[-\frac{x_2 - x_A}{l_{2A}} \Delta x_B - \frac{y_2 - y_A}{l_{2A}} \Delta y_B - \right. \\ & \left. \frac{z_2 - z_A}{l_{2A}} \Delta z_B + \frac{x_1 - x_A}{l_{1A}} \Delta x_B + \right. \\ & \left. \frac{y_1 - y_A}{l_{1A}} \Delta y_B - \frac{z_1 - z_A}{l_{1A}} \Delta z_B \right] + N_{AB}^{12} \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中各增量前的系数分别为卫星至天线 A, B 的单位矢量的分量。基线长度相对于 GPS 卫星离地面的距离相比甚短, 基线矢量对天线位置不敏感, 因此, 只要知道地面 GPS 接收机的位置, 则各系数可用 GPS 接收机至卫星的单位矢量代替。式(2)可以简写为

$$\lambda \phi_{AB}^{12} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2) \mathbf{R} + N_{AB}^{12} \quad (3)$$

式中

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= (R_x \ R_y \ R_z)^T = (\Delta x_B \ \Delta y_B \ \Delta z_B)^T \\ \mathbf{e}_1 &= (e_{1x} \ e_{1y} \ e_{1z}) \\ \mathbf{e}_2 &= (e_{2x} \ e_{2y} \ e_{2z}) \end{aligned}$$

如果同时观测 n 颗卫星, 可以列出 $(n-1)$ 个方程, 则方程组为

$$\begin{cases} \lambda \phi_{AB}^{12} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2) \mathbf{R} + N_{AB}^{12} \\ \lambda \phi_{AB}^{13} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_3) \mathbf{R} + N_{AB}^{13} \\ \dots \\ \lambda \phi_{AB}^{1n} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_n) \mathbf{R} + N_{AB}^{1n} \end{cases} \quad (4)$$

1.1 已知整周模糊度, 求解基线向量

在双差模糊度已知时, 观测 n 颗卫星可得到 $(n-1)$ 个双差方程。

当 $n \geq 4$ 时, 方程的个数大于未知数的个数, 可以求得基线向量, 则方程组为

$$\begin{cases} \lambda \phi_{AB}^{12} - N_{AB}^{12} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2) \mathbf{R} \\ \lambda \phi_{AB}^{13} - N_{AB}^{13} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_3) \mathbf{R} \\ \dots \\ \lambda \phi_{AB}^{1n} - N_{AB}^{1n} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_n) \mathbf{R} \end{cases} \quad (5)$$

采用式(5)的 GPS 双差法, 能够消除 GPS 卫星时钟误差(包括 SA 干扰)和接收机时钟误差, 显著地削弱电离层、对流层效应对定位精度的损失, 大幅度提高测量精度^[9]。

1.2 未知整周模糊度, 求解基线向量

在双差模糊度未知时, 观测 n 颗卫星可得到 $(n-1)$ 个双差方程。但有 $(n+2)$ 个未知数(其中 3 个未知数为基线向量, $(n-1)$ 个未知数为整周

模糊度), 不可能在一个时刻求解基线向量。

在没有发生载波相位周跳的情况下, 整周模糊度是不变的。因此采用两个或两个以上时刻, 求 $(n+2)$ 个未知数。其方程组为

$$\begin{cases} \lambda \phi_{AB_i}^{12} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2)_i \mathbf{R} + N_{AB}^{12} \\ \lambda \phi_{AB_i}^{13} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_3)_i \mathbf{R} + N_{AB}^{13} \\ \dots \\ \lambda \phi_{AB_i}^{1n} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_n)_i \mathbf{R} + N_{AB}^{1n} \\ \dots \\ \lambda \phi_{AB_i}^{12} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2)_i \mathbf{R} + N_{AB}^{12} \\ \lambda \phi_{AB_i}^{13} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_3)_i \mathbf{R} + N_{AB}^{13} \\ \dots \\ \lambda \phi_{AB_i}^{1n} = (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_n)_i \mathbf{R} + N_{AB}^{1n} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $\lambda \phi_{AB_i}^{1n}$ 表示第 i 时刻卫星 1 和卫星 n 的双差载波相位观测量; $(\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_n)_i$ 表示第 i 时刻卫星 1 和卫星 n 到接收机的方向矢量之差。

GPS 的载波相位有噪声。式(6)求出的整周模糊度不一定是整数, 这与实际情况不符合。

2 求解双差模糊度与基线矢量

下面分析求解整周模糊度的思路和方法。

2.1 双差模糊度的浮点解

由于信号在空中传输受到各种干扰, 引入误差概念, 由式(6)可得

$$\mathbf{V} = \mathbf{H}_n \mathbf{X} + \mathbf{L}^\phi \quad (7)$$

式中, \mathbf{V} 表示残余误差向量; $\mathbf{L}^\phi = (\mathbf{L}^{\phi_1} \ \mathbf{L}^{\phi_2} \ \dots \ \mathbf{L}^{\phi_i})^T$ 表示从第 1 到第 i 时刻范围内的双差观测量, 其中 $\mathbf{L}^{\phi_i} = (-\lambda \phi_{AB_i}^{12} \ -\lambda \phi_{AB_i}^{13} \ \dots \ -\lambda \phi_{AB_i}^{1n})^T$ 表示第 i 时刻的双差观测量; $\mathbf{H}_{r_i} =$

$$\begin{pmatrix} (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2)_i & \lambda & 0 & \dots & 0 \\ (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_3)_i & 0 & \lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_n)_i & 0 & 0 & \dots & \lambda \end{pmatrix}$$

表示第 i 时刻的系数矩阵; $\mathbf{H}_n = (\mathbf{H}_{r_{n1}} \ \mathbf{H}_{r_{n2}} \ \dots \ \mathbf{H}_{r_{ni}})^T$ 表示从第 1 时刻到第 i 时刻时间范围内的系数矩阵; $\mathbf{X} = (R_x \ R_y \ R_z \ N_{AB}^{12} \ N_{AB}^{13} \ \dots \ N_{AB}^{1n})^T$ 表示基线矢量和模糊度的未知数矩阵。

由最小二乘法可以得到基线向量和双差模糊度浮点解为^[10]

$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{H}_n^T \mathbf{P}^{-1} \mathbf{H}_n)^{-1} \mathbf{H}_n^T \mathbf{P}^{-1} \mathbf{L}^\phi \quad (8)$$

式中, \mathbf{P} 为双差观测量相关矩阵。

由式(8)求解的模糊度 $N_{AB}^{12}, N_{AB}^{13}, \dots, N_{AB}^{1n}$ 是浮点解, 取整为 $N^{12}, N^{13}, \dots, N^{1n}$ 。

2.2 整周模糊度的整数解

用浮点解经过四舍五入处理后的双差模糊度 $N^{12}, N^{13}, \dots, N^{1n}$ 不一定是真正的模糊度, 因此必须寻找真正的模糊度。

由式(4)可得

$$V = HR + LDD \quad (9)$$

式中, $H_i = [(e_1 - e_2)_i \quad (e_1 - e_2)_i \quad \dots \quad (e_1 - e_2)_i]^T$ 表示第 i 时刻的系数矩阵; $H = (H_1 \quad H_2 \quad \dots \quad H_i)^T$ 表示从第 1 到 i 时刻的时间范围内的系数矩阵; $LDD_i = [\chi(N_{AB}^{12} - \phi_{AB}^{12}) \quad \chi(N_{AB}^{13} - \phi_{AB}^{13}) \quad \dots \quad \chi(N_{AB}^{1n} - \phi_{AB}^{1n})]^T$ 表示第 i 时刻的常数矩阵; $LDD = (LDD_1 \quad LDD_2 \quad \dots \quad LDD_i)^T$ 表示从第 1 到第 i 时刻时间范围内的常数矩阵。

由最小二乘法得基线向量的估计值和最小残差平方和 $V^T PV$ 为

$$\begin{cases} \hat{R} = (H^T P^{-1} H)^{-1} H^T P^{-1} LDD \\ V^T PV = (H^T \hat{R} + LDD)^T P (H^T \hat{R} + LDD) \end{cases} \quad (10)$$

从式(9)和式(10)可以看出: 改变一个模糊度, 就可以计算出一个基线向量估计值和对应的残差平方和 $V^T PV$ 。

列出所有的模糊度组合, 求出基线向量的估计值 \hat{R} 和残差平方和 $V^T PV$, 则最小残差平方和 $V^T PV$ 对应的模糊度就是真正的模糊度, 它对应的基线向量估计值就是基线向量。这就是搜索算法计算模糊度和基线向量的基本思想。

3 快速求解整周模糊度

上面的搜索算法可以求解 GPS 载波相位双差模糊度和基线向量。但是, 它的整周模糊度组合数量特别巨大。例如: 在长度为 3 m 的基线上, 载波相位的波长约为 19 cm, 若有 6 颗卫星, 则有 $(2 \times 3 / 0.19)^5 = 10^8$ 个整周模糊度组合; 若有 10 颗卫星, 则有 $(2 \times 3 / 0.19)^9 = 2.5 \times 10^{14}$ 个组合, 并且计算是矩阵计算, 其计算量相当巨大。可见直接搜索整周模糊度是不现实的, 必须研究新的算法来解决该问题。

3.1 快速求解模糊度算法

这里假设有 5 颗卫星, 每个双差载波相位模糊度组合都为 5, 如图 2 所示。

该搜索算法就是把所有双差模糊度进行组合, 进行逐一比较, 比如(2, 1, 2, 1) 组合。但是, 如果能够判断(3, 3) 不可能是真值模糊度组合, 那么(3, 3, x, x) 后面的模糊度就不考虑了。基于这种思路, 可以大大降低搜索计算量。

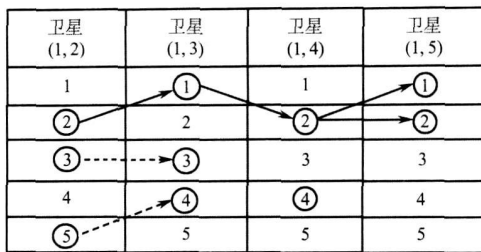


图 2 快速求解模糊度算法示意图

判断一个组合可能是真值模糊度组合有下列 2 个条件。

- 1) 当前的模糊度组合对应的残差平方和为最小(即小于以前的残差平方和);
- 2) 当前的模糊度组合对应的基线长度接近于基线长度(即 3 m)。

3.2 模糊度的搜索流程

根据上面的思想, 下面以 5 颗卫星为例, 考虑基线长度的约束条件。其详细流程论述如下(其他数量的卫星流程相似)。

第 1 步 取搜索残差初始值 w_1, w_2, w_3 为无穷大(w_1, w_2, w_3 分别作为有 3 颗, 4 颗, 5 颗卫星对应的最小残差平方和, 可更快地搜索模糊度)。

第 2 步 依次取第 1 个双差模糊度, 如果取完所有模糊度, 则执行第 6 步。

第 3 步 依次取第 2 个双差模糊度, 计算基线向量和残差平方和 w , 如果 $w < w_1$, 取 $w_1 = \min(3w, w_1)$ 。若 $w < w_1$ 且计算基线的长度接近 3 m, 则执行第 4 步, 否则, 执行第 3 步; 如果取完第 2 个所有双差模糊度, 则执行第 2 步。

第 4 步 依次取第 3 个双差模糊度, 计算基线向量和残差平方和 w , 如果 $w < w_2$, 取 $w_2 = \min(3w, w_2)$ 。若 $w < w_2$ 且计算基线的长度接近 3 m, 则执行第 5 步, 否则, 执行第 4 步; 如果取完第 3 个所有双差模糊度, 则执行第 3 步。

第 5 步 依次取第 4 个双差模糊度, 计算基线向量和残差平方和 w , 如果 $w < w_3$, 取 $w_3 = \min(3w, w_3)$ 。执行第 5 步; 如果取完第 4 个所有双差模糊度, 则执行第 4 步。

第 6 步 如果所有模糊度取完, 则最小残差平方对应的模糊度和基线向量分别是真值模糊度和真值基线向量。

4 搜索算法的优化

如果同时观测 12 颗卫星, 在 300 s 时间内, 每秒采集 1 次。那么式(8)中的 H_n 为 $3\ 300 \times 14$ 矩阵; P 为 $3\ 300 \times 3\ 300$ 矩阵; L_n 为 $3\ 300 \times 1$ 矩阵。

式(10)中的 V 为 $3\ 300 \times 1$ 矩阵; H_r 为 $3\ 300 \times 3$ 矩阵; L_{DD} 为 $3\ 300 \times 1$ 矩阵。求解 \hat{X} , \hat{R} 及 $V^T PV$ 的运算量是很大的。特别是搜索双差模糊度,需要改变模糊度组合计算 \hat{R} 和 $V^T PV$, 其运算量更是巨大。下面以 n 颗 ($n \geq 2$) 卫星, m_s 时间的数据为例研究优化的搜索算法, 以大大减少运算。

4.1 计算 \hat{X} 的优化算法

由式(8)可以求解基线向量和整周模糊度,如果在一段较长时间里采集卫星观测量,它是一个特别大的矩阵运算,要耗费大量的计算资源。分析相关矩阵 P 的特点,采用分块矩阵将大矩阵化为小矩阵计算。式(8)可以推导出

$$\hat{X} = \begin{matrix} H &^{-1} & L \\ 14 \times 14 & & 14 \times 1 \end{matrix} \quad (11)$$

其中

$$H_{14 \times 14} = H_{r_n}^T P^{-1} H_{r_n} = \sum_{i=1}^m H_{r_{n_i}}^T P_N^{-1} H_{r_{n_i}}$$

$$L_{14 \times 1} = H_{r_n}^T P^{-1} L_\phi = \sum_{i=1}^m H_{r_{n_i}}^T P_N^{-1} L_{\phi_i}$$

$$H_{r_n} = (H_{r_{n_1}} \ H_{r_{n_2}} \ \dots \ H_{r_{n_m}})^T$$

$$L_\phi = (L_{\phi_1} \ L_{\phi_2} \ \dots \ L_{\phi_m})^T$$

$$P = \begin{pmatrix} P_N & & & 0 \\ & P_N & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & P_N \end{pmatrix}$$

式中, $H_{r_{n_i}}$ 表示 n 颗卫星第 i 时刻的系数矩阵, 矩阵的大小为 $(n-1) \times 6$; L_{ϕ_i} 表示 n 颗卫星第 i 时刻的载波矩阵, 矩阵的大小为 $(n-1) \times 6$; P_N 表示 n 颗卫星一个时刻的双差相关矩阵, 矩阵的大小为 $(n-1) \times (n-1)$ 。

上面算法中最大的矩阵为 $(n-1) \times (n-1)$, 其运算量与式(8)相比,大大减小。

4.2 计算 \hat{R} 的优化算法

搜索双差模糊度,需要反复变换模糊度的组合计算基线向量和残差平方和,其计算量更是巨大,也需要优化算法。

式(9)的 L_{DD} 包括两部分:载波相位观测量和整周模糊度。其中载波相位观测量在一段时间内是不变的,只需一次计算;整周模糊度组合在搜索过程中是变化的。利用这一特性,可以简化计算。于是有

$$\begin{aligned} \hat{R} &= (H_r^T P^{-1} H_r)^{-1} H_r^T P^{-1} L_{DD} = \\ &= (H_r^T P^{-1} H_r)^{-1} H_r^T P^{-1} (\lambda N_{AB} - \lambda \phi_{AB}) = \\ &= \lambda N_{AB} N - \lambda \left(\sum_{i=1}^m H_{r_i}^T P_N^{-1} H_{r_i} \right)^{-1} \sum_{i=1}^m H_{r_i}^T P_N^{-1} \phi_{AB_i} \end{aligned} \quad (12)$$

式中

$$\begin{aligned} H_{NN} &= \sum_{i=1}^m H_{r_i}^T P_N^{-1} H_{r_i} \sum_{i=1}^m H_{r_i}^T P_N^{-1} \\ H_r &= (H_{r_1} \ H_{r_2} \ \dots \ H_{r_m})^T \\ \phi_{AB} &= (\phi_{AB_1} \ \phi_{AB_2} \ \dots \ \phi_{AB_m})^T \\ N_{AB} &= (N \ N \ \dots \ N) \end{aligned}$$

其中, N 表示 n 颗卫星的整周模糊度, 矩阵大小为 $(n-1) \times 1$; ϕ_{AB_i} 表示 n 颗卫星第 i 时刻的双差载波相位矩阵, 其大小为 $(n-1) \times 1$; H_{r_i} 表示 n 颗卫星第 i 时刻的系数矩阵, 其大小为 $(n-1) \times 3$ 。

在 GPS 观测数据为一定时,式(12)的第1项的 H_{NN} 是不变化的,第2项也是不变化的,它们是小矩阵,只需一次计算即可。当变化整周模糊度组合时,只需 H_{NN} 与模糊度组合 N 相乘,然后与第2项相加。通过这样的处理,改变模糊度组合,计算基线向量 R 的计算量就很小了。

4.3 计算 $V^T PV$ 的优化算法

得到 R 以后,要计算 $V^T PV$, 其计算量也是很大的。并且每改变一次模糊度组合,就要求解基线向量和 $V^T PV$,有必要对其进行优化。

$$\begin{aligned} V^T PV &= (H_r \hat{R} + L_{DD})^T P (H_r \hat{R} + L_{DD}) = \\ &= (H_r \hat{R} + \lambda N_{AB} - \lambda \phi_{AB})^T P (H_r \hat{R} + \\ &= \lambda N_{AB} - \lambda \phi_{AB}) = \\ &= \hat{R}^T \left[\sum_{i=1}^m H_{r_i}^T P_N H_{r_i} \right] \hat{R} + \hat{R}^T \left[\lambda \sum_{i=1}^m H_{r_i}^T P_N \right] N - \\ &= \hat{R}^T \left[\lambda \sum_{i=1}^m H_{r_i}^T P_N \phi_{r_i} \right] + N^T \left[\lambda \sum_{i=1}^m P_N H_{r_i} \right] \hat{R} + \\ &= N^T \left[\lambda \sum_{i=1}^m P_N \right] N - N^T \left[\lambda \sum_{i=1}^m P_N \phi_{AB_i} \right] + \\ &= \left[\lambda \sum_{i=1}^m \phi_{AB_i} P_N H_{r_i} \right] \hat{R} - \left[\lambda^2 \sum_{i=1}^m \phi_{AB_i}^T P_N \right] N + \\ &= \left[\lambda^2 \sum_{i=1}^m \phi_{AB_i}^T P_N \phi_{AB_i} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

式中,中括号 $[\]$ 内都是常数矩阵或常数,并且都是小矩阵。在搜索模糊度时,变化一种模糊度组合,通过式(12)求解基线向量 R ,然后再利用式(13)计算残差平方和,其运算量将大大降低。在采集数据时间长、观测数据多时,它们的计算量几乎是一定的。

5 实验结果

5.1 实验与测试

相距为 3 m 的两个 GPS 天线,在地理坐标为 $(-1\ 581\ 759, 5\ 324\ 503, 3\ 124\ 999)$ 进行测试。每次测试采集 300 s 的数据,计算整周模糊度和基线的北向方位。经多次测试,数据列于表 1。

表1 双GPS测试数据与结果

序号	卫星数	指北方向/ $^{\circ}$	计算时间/s		指北误差/ $^{\circ}$
			有长度约束	无长度约束	
1	5	61.599 8	0.20	0.25	- 0.007 85
2	5	61.634 3	0.18	0.21	0.026 65
3	5	61.632 9	0.19	0.23	0.025 25
4	9	61.609 9	0.17	0.19	0.002 25
5	8	61.597 7	0.16	0.20	- 0.009 95
6	8	61.574 7	0.20	0.22	- 0.032 95
7	12	61.613 6	0.15	0.18	0.005 95
8	7	61.598 3	0.16	0.20	- 0.009 35

5.2 结果分析

分析表1中的结果,可以看出下列3点。

1) 指北最大最小误差在 0.06° 以内。

2) 计算时间在 0.3 s 以内。一般地,卫星数目越多,计算时间越短。这是因为卫星数越多,观测信息也越多,收敛越快。

3) 采用基线长度作为约束条件,可以明显缩短计算时间。同时,也可以提高解算的正确率。如果不采用优化算法,计算时间将会很长而不能接受(在没有采用优化算法的实验中,计算时间长达 1.5 h)。

采用上述优化算法,可以大大减小计算时间。同时,在增加测量时间和卫星数的情况下,计算时间不会因为数据量的增加而剧烈增加,其计算时间变化不大。

6 结论

该系统经过两年多的研究,几个月的反复测试,达到了设计要求。其产品已经交付用户使用。该系统有下列主要成果。

1) 研究了载波相位定向的理论方法,建立了数学模型,给出了数据处理算法。

2) 给出了快速求解整周模糊度的算法,并对搜索算法进行了优化。该算法不会因为增加观测时间和卫星数,使观测数据增加而显著增加解算的时间,其解算时间基本保持不变。

3) 把基线长度作为约束条件,能提高定向的

正确率,减少解算时间。

4) 采用快速求解整周模糊度算法,在长度为 3 m 的基线上,采集 5 min 的数据,定向精度可以达到 0.12° ,正确率可达 99% 。

5) 把该算法应用于双GPS的定向系统中,采集 5 min 的数据,每秒采集1次观测量,同时观测卫星多达12颗时,解算时间为 0.3 s 。

参考文献:

- [1] 吴显兵. 用小波变换进行周跳改正和卡尔曼滤波比较[J]. 测绘科技, 1996(6): 55-64.
- [2] 黄 袁. GPS差分与定位的差分理论及有效性[J]. 西南交通大学学报, 1997, 32(4): 388-394.
- [3] 胡丛伟. 高精度GPS动态定位及精度测量[J]. 工程勘测, 1998(4): 51-54.
- [4] 张 浩, 黄晓瑞. 单频GPS定向系统研究[J]. 宇航学报, 2004, 25(4): 5-8.
- [5] 王银华, 胡小平. GPS精密定向研究的实验[J]. 宇航学报, 2001, 22(1): 70-74.
- [6] 尤红建, 苏 林. 基于双GPS接收机的精密定向研究[J]. 中国空间科学技术, 2003, 6(3): 47-50.
- [7] 尤红建. 顾及模糊度函数及残差的GPS快速定向算法[J]. 全球定位系统, 2003(5): 31-35.
- [8] 邓强, 黄顺吉. 基于GPS干涉仪的机载合成孔径雷达平台姿态控制与运动补偿的研究[J]. 导航, 1995, 31(3): 88-92.
- [9] 刘基余. GPS动态载波相位测量定位[J]. 导航, 1994, 30(3): 53-63.
- [10] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

责任编辑 陶大欣